

# Estudio mineralógico cuantitativo en el proceso de concentración de las menas Sn-Ta de Golpejas (Salamanca)

Por JUAN LOCUTURA (1), CASILDA RUIZ (1), JOSEFINA SIERRA (2) y ELENA VINDEL (2)

## RESUMEN

En el Grupo Minero Golpejas (provincia de Salamanca), se ha realizado un estudio mineralógico cuantitativo por medio del analizador de imagen sobre productos de diferentes etapas del proceso de concentración.

La técnica del análisis de imagen empleada en el estudio de esta mena de estaño, niobio, tántalo, ha proporcionado unos resultados de calidad muy superior a la obtenida por métodos tradicionales, resultados que pueden ser utilizados en la mejora de la recuperabilidad de la misma.

## ABSTRACT

In the "Grupo Minero Golpejas" (province of Salamanca), a quantitative mineralogical study has been made by means of an image analysing computer, on products of different stages of the concentration process.

The technique of image analysing which has been used in the study of this tantalum-niobium-tin ore, has provided results of greater accuracy than is obtained with the traditional methods, results that can be employed for a better recovery of the ore.

## RESUME

Une étude minéralogique quantitative à l'analyseur d'image a été réalisée sur les matériaux des diverses étapes de la concentration du minerai du "Grupo Minero Golpejas" (province de Salamanca).

La technique de l'analyseur d'image utilisée dans l'étude de ce minerai (Sn-Nb-Ta) a fourni des données plus précises que celles obtenues par les méthodes classiques, utilisables pour une amélioration de sa récupération.

## INTRODUCCION

El mineral que se explota en el Grupo Minero Golpejas presentaba problemas de concentración por lo que se realizó el montaje de una planta piloto de concentración en la Empresa Nacional Adaro para tratar de mejorar la recuperabilidad de esta mena de estaño, niobio y tántalo.

Las especiales características de la mena influyen negativamente en su recuperación por lo que resultaba interesante abordar el problema del control mineralógico a lo largo del proceso.

Para el conocimiento de las características de la mena se ha realizado el estudio microscópico de sus componentes así como sus relaciones texturales.

Unas conclusiones coherentes no pueden extraerse de las características cualitativas del análisis microscópico; es necesario cuantificarlas para lo que se ha aplicado la técnica del análisis de imagen, metodología que ofrece una calidad, rapidez y economía en los resultados muy superior a la obtenida por los métodos clásicos.

## SITUACION Y ENCUADRE GEOLOGICO

(1) Laboratorio de Petrología y Metalogenia del IGME.

(2) Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Complutense de Madrid.

El Grupo Minero de Golpejas se encuentra emplazado a 23 km al Oeste de Salamanca, C-517 de

Salamanca a la frontera portuguesa por Vitigudiño (fig. 1). Ocupa parte de los términos de Golpejas, Vega de Tirados y Villamayor en las hojas 451 y 477 del Mapa Topográfico Nacional (1:50.000). En la actualidad pertenece a la Sociedad Angel Luengo.

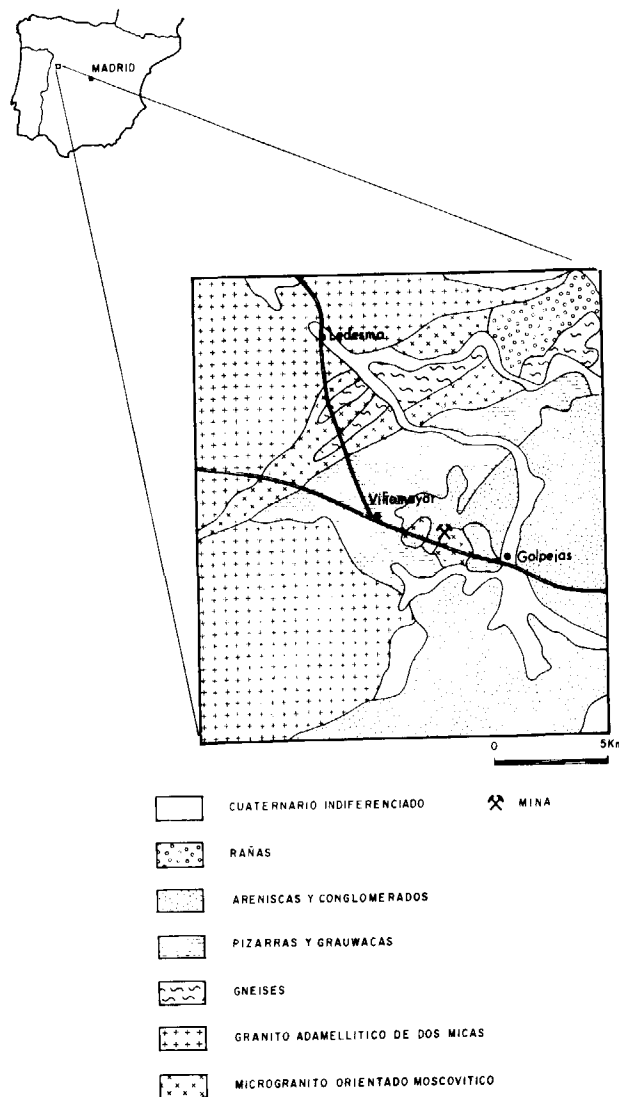


Figura 1

Situación de la zona con respecto al mapa de síntesis geológica E:1/200.000

El yacimiento se encuentra en la serie pizarrea paleozoica del borde de la fosa de Ciudad Rodrigo, encontrándose parcialmente recubierto por sedi-

mentos terciarios y cuaternarios que cubren parte de la región.

En estas monótonas series pizarreas, encajan diferentes conjuntos intrusivos ácidos, posteriores a las primeras etapas hercínicas y sintectónicas con otras intermedias.

Su morfología, filoniana, muestra diversas orientaciones, presentando en superficie, una disposición en arco casi cerrado. El conjunto se halla afectado por diversas fallas que apenas logran modificar su primitiva disposición. Como dimensiones se le pueden atribuir 2.400 m de desarrollo y potencia variable, desde unos metros hasta superar la treintena.

Un proceso neumatolítico ha greisenizado el dique con intensidad creciente hacia el techo.

Un proceso de caolinización ha afectado al muro y a los extremos del conjunto. El estaño, diseminado en toda la intrusión, presenta notables enriquecimientos en relación con la greisenización, presentándose a veces asociado a pequeños filones de cuarzo.

#### DESCRIPCION DE LA PLANTA Y MUESTREO

El esquema adjunto (fig. 2) explica de una forma simple el proceso operativo de la planta piloto, cuyo objeto primordial es ir obteniendo concentrados de minerales pesados a medida que el grado de liberación logrado mediante las oportunas fases de trituración y molienda, así lo vayan permitiendo. Los preconcentrados conseguidos de esta manera se tratan en fase discontinua por medio de mesas de enriquecimiento con el fin de obtener productos vendibles una vez sometidos a las fases últimas de separación magnética.

En líneas generales el esquema de flujo puede describirse así:

a) Preparación de la mena hasta tamaños de 10 milímetros por medio de dos fases de trituración.

b) Recuperación del mineral pesado, liberado en la fase anterior por medio de la concentración gravimétrica en un jig (12x18). Un segundo jig en serie (4x8) apura dicho producto para obtener un preconcentrado definitivo. Este es tamizado en dos fracciones (>100 mallas y <100 mallas).

c) Molienda primaria (en barras) y clasificación de productos hasta 35 mallas.

d) Concentración en jig (8x12) del material pesado anteriormente liberado.

e) Molienda secundaria (de bolas) hasta granulometrías de 100 mallas.

f) Tratamiento en mesas (arenas y finos) del mineral así molido, con recirculación y remolienda de los granos mixtos.

separación magnética con el fin de conseguir productos comerciales.

Se eligieron los puntos de toma, de forma que con el menor número de muestras, representaran la mayor información posible sobre los diferentes procesos de la planta. Debido a la escasa ley del todo uno, y su incidencia en el número de granos de minerales opacos que estadísticamente aparecerían en las probetas pulidas, además de la solicitud de información impuesta sobre problemas de concen-

#### ESQUEMA DE LA PLANTA

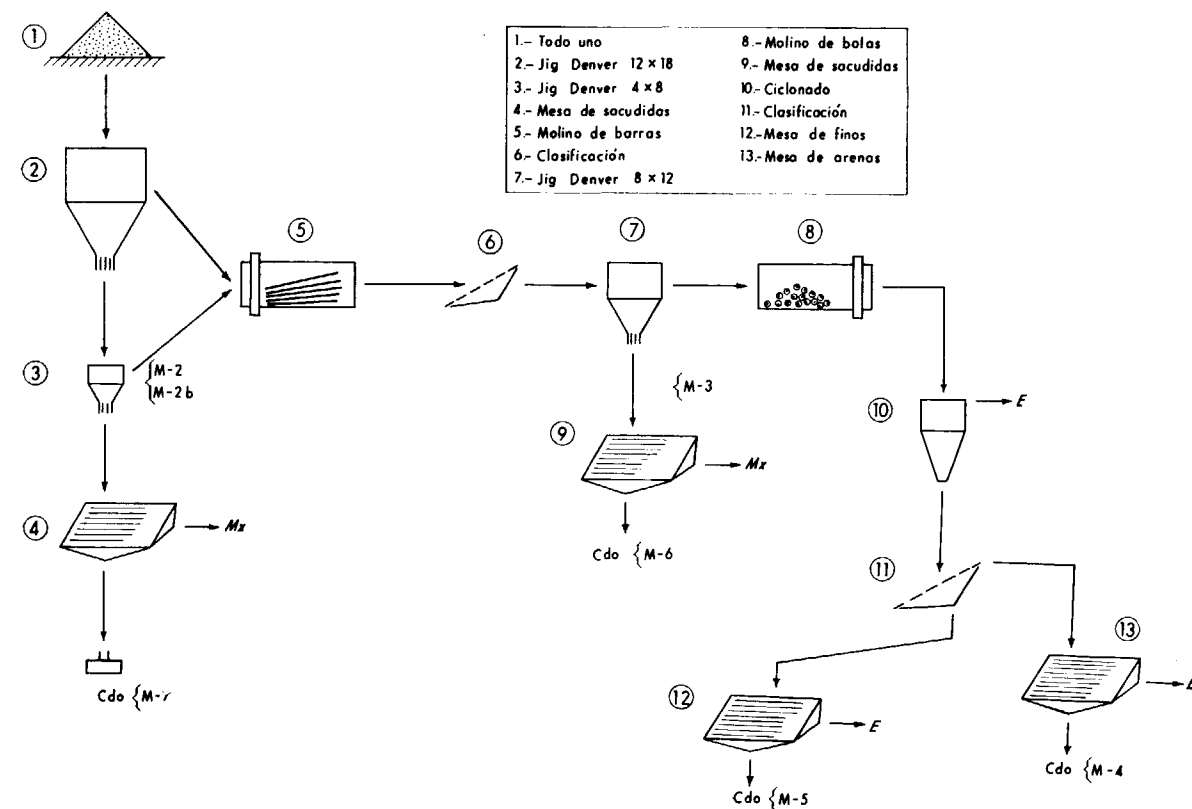


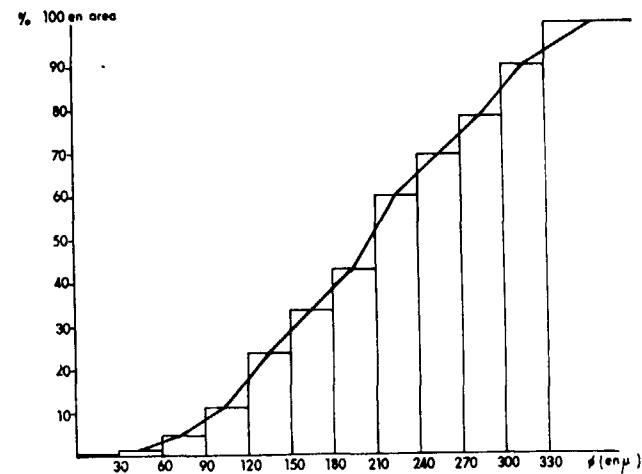
Figura 2

g) Clasificación lateral del producto, que desde las primeras etapas se va consiguiendo, separando dos fases en serie, las fracciones menores de 15  $\mu$  (estéril) y las 15-50  $\mu$  (esta última se recoge para ensayos gravimétricos de recuperación de muy finos).

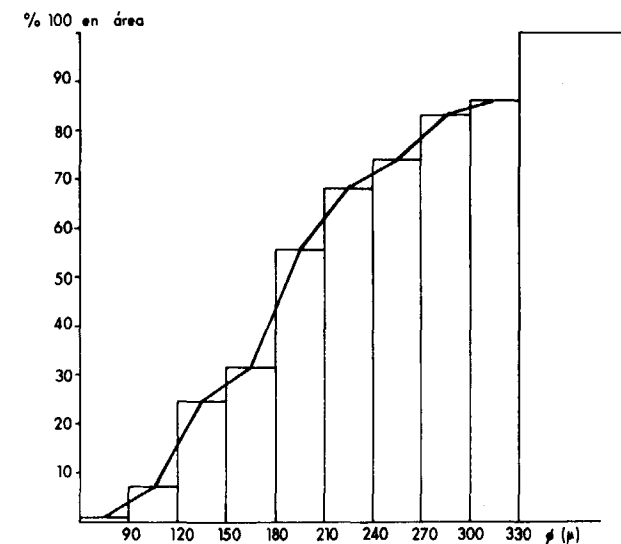
h) Los concentrados obtenidos se vuelven a tratar mediante mesa de afino y posteriores etapas de

trados finales, se optó por la manipulación de los productos acabados (concentrados y preconcentrados) en las diferentes fases esenciales.

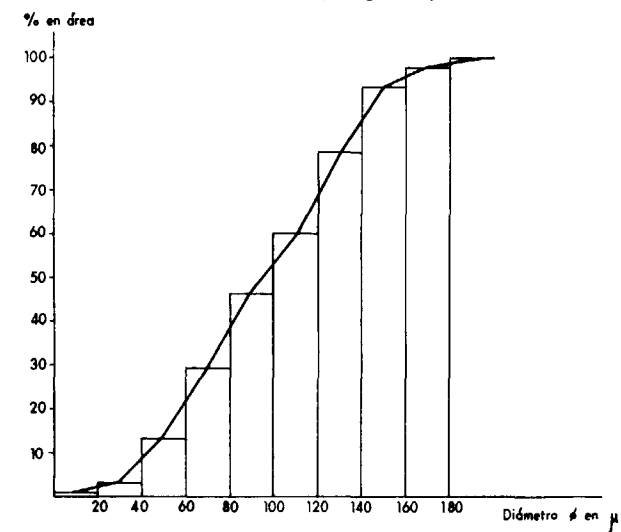
De esta manera, se diferenciaron las dos granulometrías de preconcentrados de la primera etapa de jig. (Máquina núm. 6 de la figura, que corresponde al modelo 4x8, en las fracciones >100 mallas y <100 mallas). Muestras 2 y 2 b.



Muestra número 2  
Casiterita (384 granos)



Muestra número 2  
Columbita (83 granos)



Muestra número 2-b  
Casiterita (311 granos)

Se eligió el preconcentrado de la segunda etapa de jig (máquina núm. 9) modelo 12×8, representante del producto liberado en la primera fase de molienda en barras. *Muestra 3*.

Después de la tercera liberación por medio del molino de bolas se tomaron dos muestras de los preconcentrados de la mesa de grueso (*Muestra 4*) y mesa de finos (*Muestra 5*).

De las etapas de enriquecimiento, se eligió el producto acabado en mesa de afino (*Muestra 6*) correspondiente a la fracción <100 μ, y los magnéticos procedentes del paso de la muestra 2 b por la separadora magnética (magnéticos) una vez afinado en mesas (*Muestra 7*).

Hay que advertir que de los tres grandes representantes de calidades del mineral existentes en el Grupo de Golpejas, se eligió para este estudio el correspondiente a la "Mina Tita", es decir, la zona central del yacimiento, con sus peculiares características de consistencia física, débil alteración supergénica y ley notable para el conjunto del criadero.

### METODOLOGIA

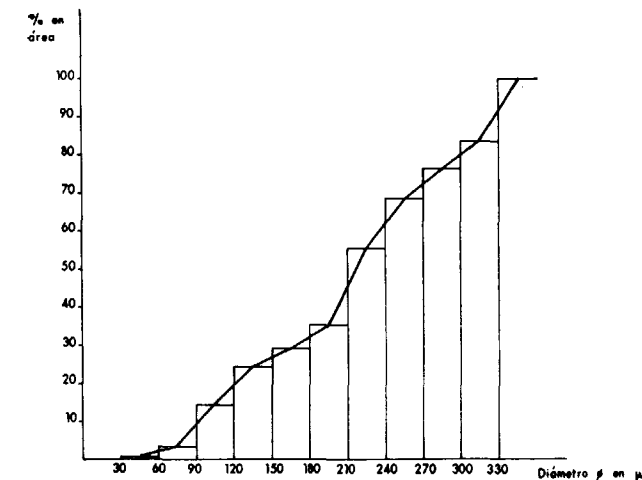
La primera fase de su estudio consiste en una detallada observación microscópica por el sistema de luz reflejada. Esta fase permite el reconocimiento de las especies minerales presentes y el establecimiento de la paragénesis mineral. Asimismo, se llega al conocimiento cualitativo de los rasgos de los minerales y de las relaciones morfológicas entre ellos (entrecrecimientos, exsoluciones, grado de liberación).

Esta fase previa es indispensable para establecer la metodología de estudio de las probetas con el analizador de imagen en la fase siguiente, es decir, para definir los parámetros que habrá de medir el aparato y sobre qué minerales.

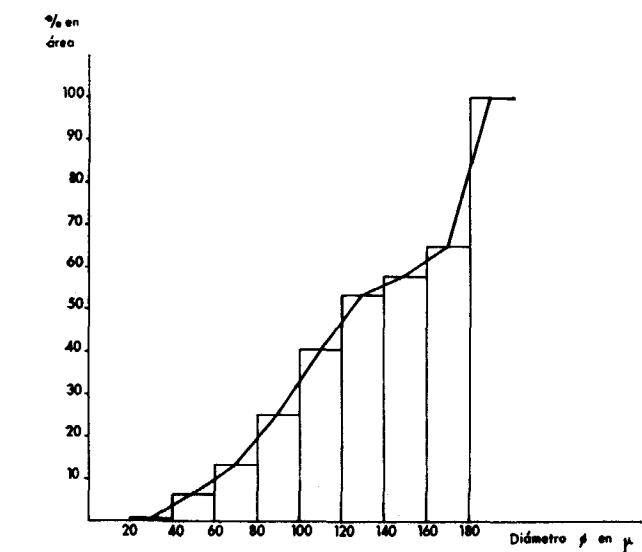
La segunda fase de estudio consiste en la utilización del Microvideomat —analizador de imagen— que basado en la televisión, explora y describe la imagen microscópica en un análisis lineal típico.

Su aplicación está basada en los principios básicos de la estereología, donde a partir de medidas puntuales o bidimensionales se pasa a espacios tridimensionales (AMSTUTZ y GIGER, 1972).

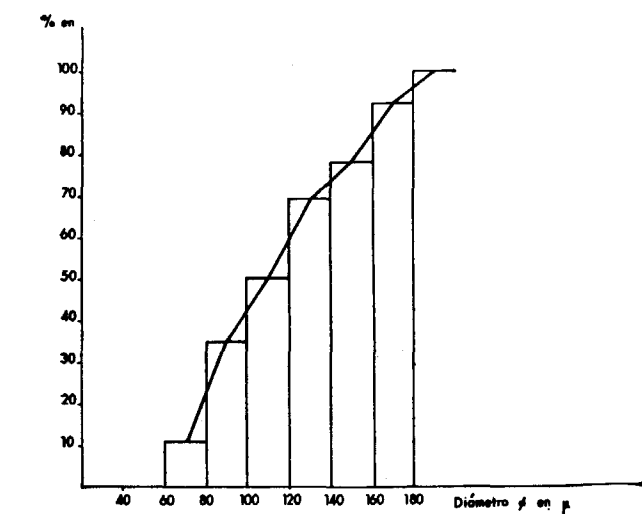
La imagen producida por el microscópico se forma sobre la superficie fotosensitiva del tubo de la cámara de televisión. En el Microvideomat los ob-



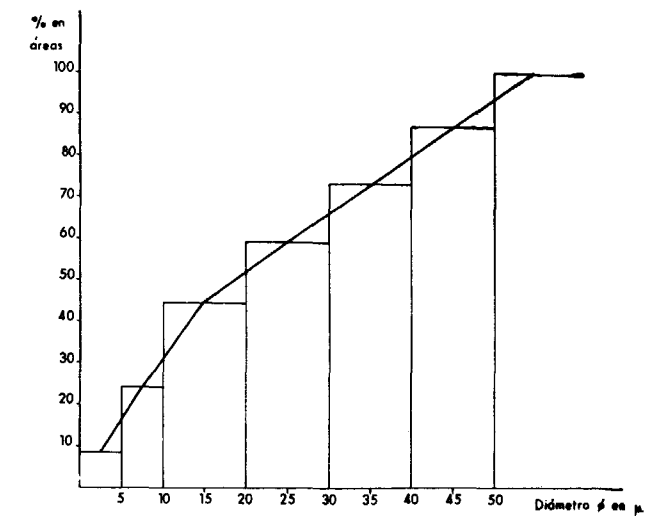
Muestra número 3  
Casiterita (89 granos)



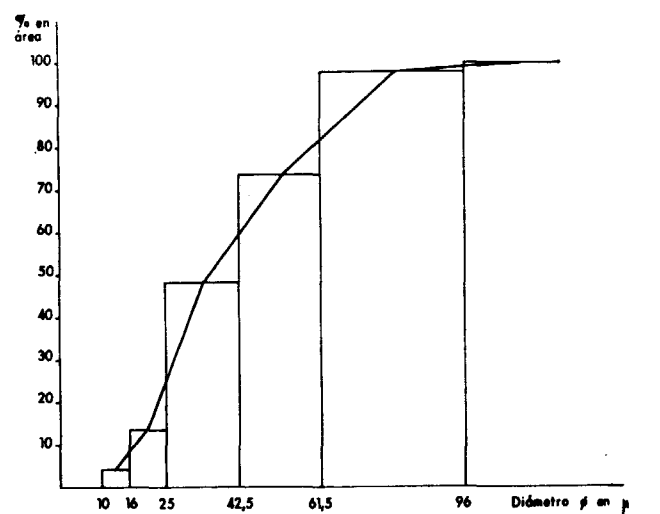
Muestra número 4  
Casiterita (149 granos)



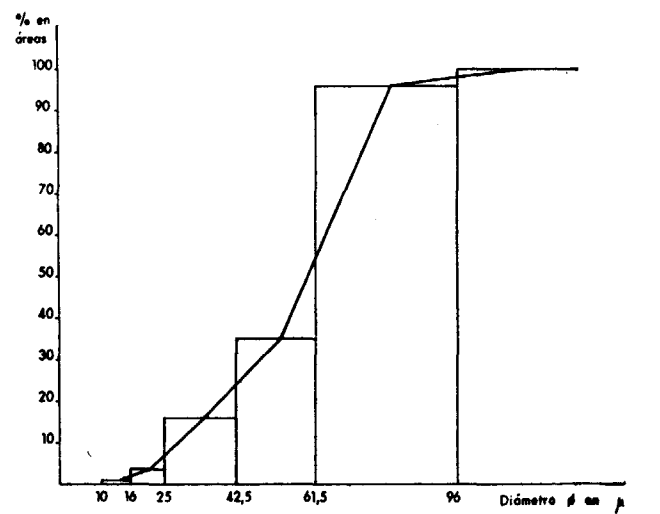
Muestra número 4  
Columbita (83 granos)



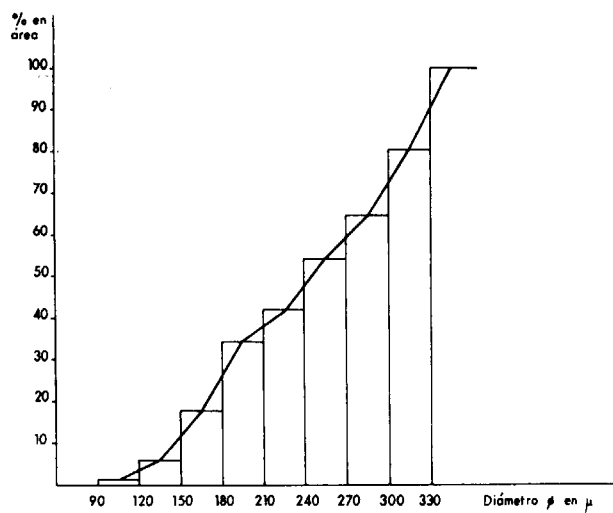
Muestra número 4  
Columbita incluida en casiterita (145 granos)



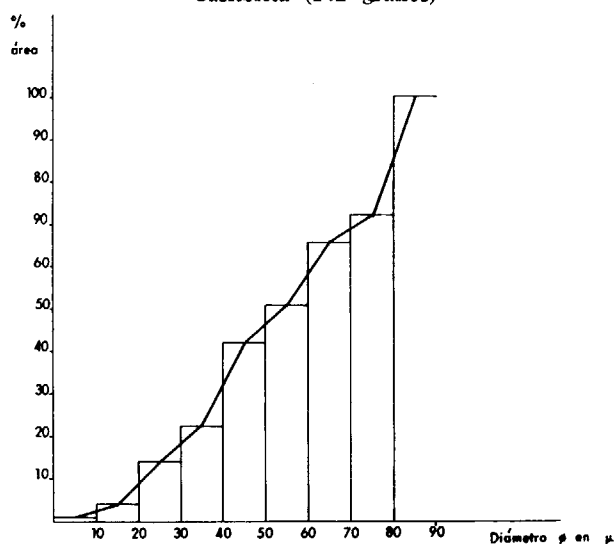
Muestra número 5  
Casiterita (174 granos)



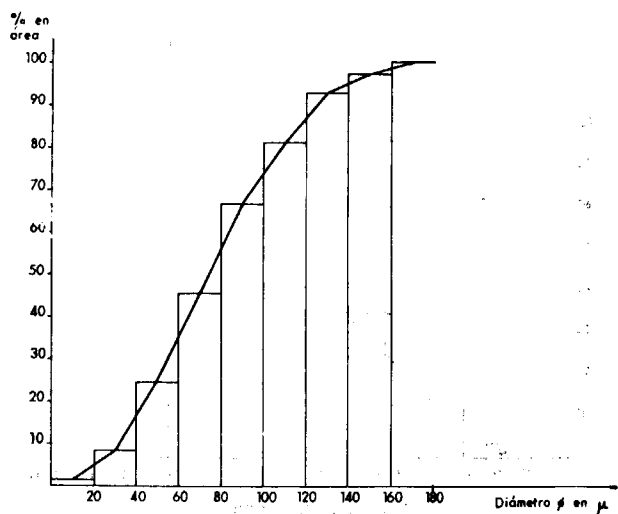
Muestra número 5  
Columbita (108 granos)



Muestra número 6  
Casiterita (142 granos)



Muestra número 7  
Casiterita (160 granos)



Muestra número 7  
Columbita libre (384 granos)

jetos son clasificados en función de su luminosidad, en el monitor los detalles del objeto se aíslan de su fondo de acuerdo con su matiz de gris. Una cuña de grises, representable en la imagen y que indica toda la gama de contrastes posibles, permite graduar cualquier tono gris deseado y de este modo los matices de gris que difieren del seleccionado quedan anulados automáticamente. Es posible introducir filtros absorbentes de color dentro del campo de la luz para una selección espectral o introducir filtros para mejorar el contraste.

Las variaciones de luminosidad de las diferentes fases de la muestra que se observa, se transforman en variaciones equivalentes de voltaje y son transmitidas en forma de impulsos de tensión al analizador de la imagen. La videoseñal se transmite simultáneamente al monitor, donde se determina el resultado "cuantitativo", de acuerdo con el programa preseleccionado en el panel de control.

La imagen producida en el microscopio es explorada en 440 líneas con 50 campos por segundo.

El analizador de imagen puede efectuar directamente medidas de áreas, diámetros y cantidad de partículas para cada fase mineral y de una manera indirecta, superficies específicas, granulometrías e índices de intercrecimiento.

La limitación fundamental de esta técnica —como ya se indicaba en LUNAR y SIERRA (1976)— está referida a la imposibilidad de discriminar minerales con valores de reflectividad muy similares (columbita y algunos óxidos de hierro) o aquellos minerales que abarcan un amplio intervalo de reflectividades.

En el caso que nos ocupa esta imposibilidad se puso de manifiesto en los óxidos de hierro.

Esta limitación se puede subsanar para minerales de diferente comportamiento ante un ataque químico. Esto es imposible de llevar a cabo en el caso de los óxidos de hierro, poco o nada atacables químicamente.

Debido a lo anteriormente expuesto, en este caso el analizador no ha podido utilizarse a su máximo rendimiento, lo que hubiera dado la granulometría de la muestra de una manera rápida y sencilla.

Ha sido necesario medir el área, diámetro y cantidad de partículas. Una vez determinados los granos de la especie mineral seleccionada, se procede a hallar el área de cada uno.

El diámetro de cada grano se obtiene por la in-



tersección de su contorno con las líneas horizontales de la pantalla de televisión.

Después se procede al establecimiento de unos intervalos de diámetros adecuados, que nos permiten conocer los porcentajes de áreas (y por tanto de volumen) de granos, dentro de los intervalos establecidos.

### ESTUDIO MICROSCOPICO

Los minerales metálicos hallados son los siguientes: casiterita, columbita-tantalita, óxidos de hierro y sulfuros (microfotografía 1).

La ganga está constituida fundamentalmente por cuarzo, y en muy baja proporción por apatito, rutilo, circón, feldespatos y barita.



Microfotografía 1

Casiterita (esquina inferior derecha), Columbita-tantalita, grano subidiomorfo (zona inferior). Pirita (color blanco-Zona superior). Óxidos de hierro, granos con contornos irregulares. (Luz reflejada  $\times 102$ . Nícoles //.)

### Casiterita.

Se presenta en granos de bordes irregulares, con formas bastante equidimensionales. Prácticamente está liberada aunque se pueden reconocer algunos mixtos de columbita o con óxidos de hierro. Hay algunos granos de casiterita que tienen finas inclusiones de óxidos de hierro. Existen granos de casiterita con finas exsoluciones de columbita (microfotografía 2), también se ha detectado, por medio de microsonda electrónica la presencia de tantalito en la red cristalina de la casiterita.

### Columbita-tantalita.

Aparece en granos de contornos irregulares y formas que varían de equidimensionales a inequidimensionales.



Microfotografía 2

Exsoluciones de columbita-tantalita en un grano subidiomorfo de casiterita (Luz reflejada  $\times 102$ . Nícoles //).



La columbita se puede considerar liberada, aunque se han reconocido mixtos con casiterita o con óxidos de hierro.

La composición de la columbita analizada por microsonda es:

47 %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ; 36 %  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ; 10 %  $\text{FeO}$ ; 6 %  $\text{MnO}$  por lo que en rigor debería denominarse columbita-tantalita.

Existen granos de columbita con inclusiones de casiterita; estas inclusiones pueden llegar a ser de tamaño casi submicroscópico, generalmente son los granos de columbita de mayor diámetro los que presentan inclusiones de casiterita aunque también se han visto en granos de diámetro reducido.

Accidentalmente se observan inclusiones de óxidos de hierro en los granos de columbita.



Microfotografía 3

Dos granos de óxidos de hierro, obsérvense las variaciones de reflectividad (Luz reflejada  $\times 52$ . Nícoles //).

#### *Oxidos de hierro.*

Presentan una amplia variación en cuanto a tamaños y formas (microfotografía 3). Estas suelen ser arriñonadas y a veces desflecadas. Son frecuentes las texturas originadas por deposición rítmica coloidal.

Los óxidos de hierro presentan una amplia variación en cuanto a sus caracteres ópticos. En general se les puede considerar hematites-goetita.

Los óxidos de hierro normalmente aparecen liberados, pero en pequeña proporción hay mixtos con columbita, casiterita o sulfuros.

#### *Sulfuros.*

Representados principalmente por pirita y en menor proporción por calcopirita y arsenopirita.

Los sulfuros tienen formas variables. Los bordes de sus granos varían de redondeados a angulosos.

Se presentan liberados aunque ocasionalmente pueden formar mixtos con óxidos de hierro.

Hay que advertir que los minerales descritos son los hallados en las muestras estudiadas que se han obtenido en diferentes puntos del proceso de concentración; no aparecen por tanto minerales como la wolframita cuya presencia en la mina es sabida.

Los cuadros que a continuación presentamos son el resumen de los datos obtenidos en el estudio por analizador de imagen.

Se adjuntan también los histogramas de áreas acumuladas de los minerales en función del intervalo de diámetros.

#### RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL ANALIZADOR DE IMAGEN

Presentamos en forma de tablas los resultados obtenidos por el analizador de imagen; incluyen los porcentajes en área entre los diferentes componentes metálicos referidos a la suma de éstos.

De cada uno de los anteriores minerales se expresa el número de granos observados y los porcentajes de las áreas correspondientes a los intervalos granulométricos.

A partir de los resultados expresados en las tablas se han elaborado los histogramas de áreas acumuladas en función de los diámetros de los granos de cada mineral.



## MUESTRA N.º 2 (&gt;100)

	%
Casiterita ... ..	64,62
Columbita ... ..	6,26
Sulfuros ... ..	0,66
Oxidos ... ..	28,45

*Casiterita=384 granos*

$\mu$	%
> 330 ... ..	9,44
300 - 330 ... ..	12,72
270 - 300 ... ..	8,90
240 - 270 ... ..	9,14
210 - 240 ... ..	17,00
180 - 210 ... ..	9,26
150 - 180 ... ..	9,91
120 - 150 ... ..	12,44
90 - 120 ... ..	6,31
60 - 90 ... ..	3,53
30 - 60 ... ..	1,17
< 30 ... ..	0,18

*Columbita en casiterita=357 granos*

$\mu$	%
> 50 ... ..	2,23
40 - 50 ... ..	20,58
30 - 40 ... ..	10,92
20 - 30 ... ..	26,85
10 - 20 ... ..	22,09
5 - 10 ... ..	11,35
< 5 ... ..	5,98

*Columbita=83 granos*

$\mu$	%
> 330 ... ..	13,82
330 - 300 ... ..	3,06
300 - 270 ... ..	9,39
270 - 240 ... ..	5,76
240 - 210 ... ..	12,62
210 - 180 ... ..	23,91
180 - 150 ... ..	6,76
150 - 120 ... ..	17,40
120 - 90 ... ..	6,34
< 90 ... ..	0,94

## MUESTRA 2-b (&lt;100)

	%
Casiterita ... ..	17,45
Columbita ... ..	12,17
Oxidos ... ..	69,13
Sulfuros ... ..	1,23

*Casiterita=311 granos*

$\mu$	%
> 180 ... ..	2,00
160 - 180 ... ..	4,37
140 - 160 ... ..	15,39
120 - 140 ... ..	18,30
100 - 120 ... ..	13,81
80 - 100 ... ..	16,90
60 - 80 ... ..	15,90
40 - 60 ... ..	10,50
20 - 40 ... ..	2,47
< 20 ... ..	0,33

*Columbita=173*

$\mu$	%
> 160 ... ..	1,03
160 - 140 ... ..	14,96
140 - 120 ... ..	13,20
120 - 100 ... ..	22,01
100 - 80 ... ..	22,64
80 - 60 ... ..	18,89
60 - 40 ... ..	6,34
40 - 20 ... ..	0,90

## MUESTRA NÚM. 3

	%
Casiterita ... ..	19,11
Columbita ... ..	1,33
Oxidos ... ..	68,88
Sulfuros ... ..	10,66

Casiterita=89 granos		Columbita libre=13 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 330	16,81	> 270	0,00
330 - 300	6,45	270 - 240	30,84
300 - 270	8,33	240 - 210	22,62
270 - 240	12,68	210 - 180	31,25
240 - 210	20,19	180 - 150	9,87
210 - 180	6,05	150 - 120	2,07
180 - 150	5,08	120 - 90	3,12
150 - 120	9,84	90 - 60	0,00
120 - 90	11,18	60 - 35	0,19
90 - 60	2,68	< 35	0,00
60 - 35	0,64		
< 35	0,00		
		MUESTRA NÚM. 4	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 330	42,93	Casiterita	8,20
330 - 300	6,43	Columbita	2,59
300 - 270	9,61	Sulfuros	4,10
270 - 240	3,01	Oxidos	85,10
240 - 210	8,28		
210 - 180	10,23	Casiterita=149 granos	
180 - 150	5,91	$\mu$	%
150 - 120	4,53	> 180	35,21
120 - 90	3,70	180 - 160	6,84
90 - 60	4,23	160 - 140	4,46
60 - 30	0,66	140 - 120	13,31
< 30	0,02	120 - 100	15,36
		100 - 80	11,71
		80 - 60	6,59
		60 - 40	5,91
		40 - 20	0,58
		< 20	0,03
		Columbita=83 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 330	50,02	> 180	7,43
330 - 300	15,65	180 - 160	14,42
300 - 270	6,07	160 - 140	8,59
270 - 240	12,06	140 - 120	19,23
240 - 210	6,50	120 - 100	15,32
210 - 180	3,39	100 - 80	23,48
180 - 150	2,43	80 - 60	10,56
150 - 120	2,96	60 - 40	0,67
120 - 90	0,70	< 40	0,26
< 90	0,05		
Sulfuros=42 granos			
$\mu$	%		
> 330	50,02		
330 - 300	15,65		
300 - 270	6,07		
270 - 240	12,06		
240 - 210	6,50		
210 - 180	3,39		
180 - 150	2,43		
150 - 120	2,96		
120 - 90	0,70		
< 90	0,05		

Oxidos=206 granos		Casiterita=174 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 180	38,85	> 96	1,95
180 - 160	8,00	96 - 61,5	23,72
160 - 140	13,27	61,5 - 42,5	26,27
140 - 120	7,18	42,5 - 25	34,26
120 - 100	13,96	25 - 16	10,00
100 - 80	5,70	16 - 10	3,37
80 - 60	8,79	< 10	0,39
60 - 40	3,50		
< 40	0,55		
		Columbita-Tantalita=108 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 50	13,06	> 96	3,85
50 - 40	13,86	96 - 61,5	61,46
40 - 30	14,02	61,5 - 42,5	18,43
30 - 20	14,25	42,5 - 25	13,42
20 - 10	20,66	25 - 16	2,82
10 - 5	15,66	16 - 10	0,41
5 - 2,5	7,03	< 10	0,01
< 2,5	1,41		
		Oxidos=176 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 180	61,30	> 96	34,35
180 - 160	7,15	61,5 - 96	38,96
160 - 140	12,04	42,5 - 61,5	16,85
140 - 120	7,33	25 - 42,5	8,25
120 - 100	3,37	16 - 25	1,23
100 - 80	4,45	< 16	0,35
80 - 60	3,15		
60 - 40	0,75		
40 - 20	0,05		
		Sulfuros=200 granos	
$\mu$	%	$\mu$	%
> 180	61,30	> 96	40,66
180 - 160	7,15	96 - 61,5	15,17
160 - 140	12,04	61,5 - 42,5	21,74
140 - 120	7,33	42,5 - 25	14,49
120 - 100	3,37	25 - 16	6,89
100 - 80	4,45	16 - 10	0,76
80 - 60	3,15	10 - 6	0,24
60 - 40	0,75	< 6	0,05
40 - 20	0,05		
MUESTRA NÚM. 5			
$\mu$	%		
Casiterita	1,26		
Columbita	3,60		
Sulfuros	8,40		
Oxidos	86,66		



MUESTRA NÚM. 6		Oxidos=316 granos	
	%	μ	%
Casiterita	17,09	> 330	47,02
Columbita	0,76	330 - 300	11,27
Oxidos	70,06	300 - 270	5,02
Sulfuros	12,09	270 - 240	5,64
Casiterita=142 granos		240 - 210	8,63
μ	%	210 - 180	5,16
> 330	19,05	180 - 150	6,36
330 - 300	15,88	150 - 120	4,95
300 - 270	10,43	120 - 90	3,23
270 - 240	12,14	90 - 60	1,74
240 - 210	8,06	60 - 35	0,18
210 - 180	16,29	< 35	0,02
180 - 150	11,59	MUESTRA NÚM. 7	
150 - 120	4,87		
120 - 90	0,87		%
< 90	0,31	Casiterita	2,20
Columbita incluida en Casiterita=46 granos		Columbita	16,22
μ	%	Oxidos	81,09
50 - 40	12,07	Sulfuros	0,49
40 - 30	27,85	Casiterita=160 granos	
30 - 20	19,96		
20 - 10	17,55		%
10 - 5	15,50		
5 - 2,5	6,48		
< 2,5	0,56		
Sulfuros=114 granos			
μ	%		
> 330	57,50	> 90	27,00
330 - 300	12,90	90 - 80	6,80
300 - 270	8,95	80 - 70	14,40
270 - 240	5,41	70 - 60	9,20
240 - 210	6,65	60 - 50	19,50
210 - 180	3,67	50 - 40	8,40
180 - 150	2,44	40 - 30	10,00
150 - 120	1,37	30 - 20	2,90
120 - 90	0,43	20 - 10	0,87
90 - 60	0,19	10 - 5	0,13
60 - 35	0,07		
< 35	0,01		

Sulfuros=47 granos		Oxidos=244 granos	
μ	%	μ	%
> 90	47,40	> 90	35,26
90 - 80	4,12	90 - 80	9,78
80 - 70	13,17	80 - 70	12,69
70 - 60	18,02	70 - 60	13,84
60 - 50	4,62	60 - 50	13,04
50 - 40	8,32	50 - 40	7,46
40 - 30	2,49	40 - 30	5,02
30 - 20	0,51	30 - 20	2,28
20 - 10	0,62	20 - 10	0,57
		< 10	0,01
Columbita libre=384 granos			
μ	%		
> 180	2,93		
180 - 160	4,27		
160 - 140	11,82		
140 - 120	14,50		
120 - 100	21,19		
100 - 80	20,78		
80 - 60	16,16		
60 - 40	6,80		
40 - 20	1,50		

INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

1. Subetapa: M-2, M-2b, M-7.

Comprende las siguientes operaciones:

1.º Concentrado de jig de cabeza (12×18).

2.º Afino en continuo y en jig (4×6) secundario.

3.º Clasificación a +100 mallas y —100 mallas (muestras 2 y 2 b).

4.º Afino en mesas (discontinuo).

5.º Separación magnética (magnéticos, muestra número 7).

Las conclusiones que se desprenden de los resultados adjuntos son:

a) Comparación entre los dos productos 2 y 2 b.

(>100 y <100 mallas del concentrado del jig 4×6).

— La proporción de casiterita en la fracción +100 mallas es grande, y seguramente con una sola etapa en la eliminación de óxidos se podría conseguir un producto comercializable (coincidente con los resultados analíticos en planta). Pero no ocurre lo mismo en la fracción más fina, en la cual el contenido de casiterita es notablemente más bajo.

— La proporción de sulfuros es muy escasa (1,33 por 100 y 0,66 por 100) y no interferirán en la marcha industrial del proceso, pero sí señalan una tendencia a concentrarse en el producto de inferior granulometría (prácticamente el doble).

Los óxidos de hierro aparecen en débil proporción en los gruesos (+100 mallas), intuyéndose una fácil eliminación de los mismos. Sin embargo, la cantidad existente dentro de los finos es muy grande y llamativa: 70 por 100.

— La fracción fina es doblemente rica en columbita, indicando una granulometría de partida algo inferior a la de la casiterita o bien una mayor friabilidad de la misma.

Un hecho muy importante es que la columbita se encuentra incluida en granos de casiterita, con preferencia en los de mayor volumen, pero sólo en cantidades que no superan el 7 por 100 del contenido total de esta especie. Dentro de esta proporción el 23 por 100 podría liberarse mediante una remolienda suave a 40 micras.

— La proporción de mixtos es muy pequeña, pre-

dominando los óxidos como omnipresentes en este grupo.

b) *Comparación entre 2b y 7* (ambas clasificadas a <100 mallas).

— Escasa cantidad de *casiterita* en el producto magnético de la separadora. Esta proporción coincide con la obtenida en la planta industrial (1 a 2 por 100). Esta casiterita es la más fina: de 38 por 100 en la fracción menor de 90  $\mu$  a 73 por 100 en el concentrado magnético, fracción menor de 90  $\mu$ . Es posible conseguir una mejora, dada la pequeña proporción de mixtos.

— Gran proporción de *óxidos* (80 por 100).

Respecto al primer concentrado, no aumentan prácticamente nada, pero existe una evidente pérdida de gruesos (a más de 90  $\mu$ , del 35 por 100 al 71 por 100) manteniéndose constante la cantidad correspondiente a la fracción menor de 50  $\mu$ .

— Los *sulfuros* en la fracción magnética, aunque escasos en sí mismos, sólo se reducen en una tercera parte ( $\frac{1}{3}$  Eficiencia de la separación magnética?).

— Un hecho muy interesante es que el enriquecimiento relativo de columbita en el paso de la muestra 2b a la 7 es reducidísimo (de 13 por 100 a 15 por 100 total), mientras que la proporción de dicha especie incluida en la casiterita es mínima. Ello significa una pobre recuperación, bien en la etapa de enriquecimiento en mesas, o en la misma separación magnética.

## 2. Subetapa de M-3 a M-6.

Consiste en el paso del concentrado de jig de segunda fase (8x12) a un enriquecimiento en mesas (discontinuo). Las conclusiones son las siguientes:

— La *casiterita*, en este caso no presenta enriquecimiento relativo apreciable respecto a los demás componentes opacos. Sin embargo, la pérdida de finos resulta evidente: del 25 por 100 al 6 por 100 en granulometría inferiores a 100 mallas. Ello apunta a la baja efectividad de la mesa de afino respecto a los tamaños pequeños, pero superiores a las 35  $\mu$  (límite teórico de una buena eficiencia en mesas de concentración).

— Los *sulfuros* se encuentran en cantidad relativa importante (18 por 100), manteniéndose en proporciones iguales en el producto, antes y después de su tratado en el enriquecimiento. Esta cantidad contaminará el concentrado de casiterita, debido a

sus bajas propiedades magnéticas. Una etapa de flotación intermedia eliminaría esta especie mineral tan entorpecedora. También cabe señalar, a título anecdótico, la pérdida de finos de sulfuros, ya denotada en la subetapa I.

— Los *óxidos* no cambian en sus proporciones relativas en esta etapa de afino, e incluso no varían en sus granulometrías. Esto explicaría algún aspecto del funcionamiento de la mesa de afino.

Existen mixtos de óxidos con las demás especies, pero en baja proporción. Las pérdidas de los metales (Sn-Ta-Nb) no deben achacarse a esta circunstancia puesto que en este caso también variaría la proporción en óxidos (no muy apreciablemente desde luego).

## 3. Subetapas M-4 y M-5.

Corresponden a productos independientes de las mesas de arenas y finos.

Podemos deducir de los contajes:

— En la mesa de finos (M-5) existe una elevada cantidad de *óxidos de hierro* de los que, un simple cribado a 100  $\mu$ , eliminaría el 35 por 100, con tan sólo una pérdida del 1,5 por 100 de *casiterita*.

El proceso lógico sería:

Separación magnética—cribado—enriquecimiento final.

La columbita, aunque aparece incluida en algunos granos de casiterita, se halla prácticamente libre, en su totalidad.

— Si comparamos ambos concentrados (4 y 5) podemos encontrar más pobreza relativa en la mesa de finos (6,5 veces menor) pero mayor enriquecimiento en columbita (1,4 veces).

Confirmando la tendencia general, los sulfuros también aumentan relativamente y los óxidos permanecen invariables. Todos estos hechos corroboran las conclusiones obtenidas en las subetapas I y II, así como las riquezas de los diques de estériles de la planta actual.

— La mesa de arena (M-4) proporciona *columbita* incluida en casiterita con un máximo del 7 por 100 de la total, presentando unas buenas posibilidades de recuperación final. En resumen, se puede concluir:

— El grado de liberación de las especies interesantes (Casiterita y Tantalita) es muy elevado. Por esta razón se debe atribuir la baja operatividad de

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a don José Antonio Espí (Minas de Almagrera, S. A.) por el asesoramiento que nos ha prestado a lo largo de todo el trabajo.

Asimismo agradecemos a doña Rosario Lunar la colaboración prestada en la fase analítica.

Nuestro reconocimiento al Departamento de Mineralurgia de la Empresa Nacional Adaro que nos proporcionó las muestras objeto de nuestro estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- AMSTUTZ y GIGER: *Stereologic methods applied to mineralogy, petrology, mineral deposits and ceramics*. Journal of Microscopy, vol. 95, February 1972, pp. 145-164 (1972).
- GARCÍA DE MIGUEL, J. M.: *El análisis de imágenes*. "Rev. Metal.", CNIM., vol. 10, núm. 4, pp. 266-273 (1974).
- LUNAR, R. y SIERRA, Josefina: *Aplicaciones del microvideomat a los yacimientos minerales*. "Bol. Geol. y Min.", t. 87 (3), pp. 266-273 (1976).
- Mapa Geológico a Escala 1:200.000, núm. 36. Vitigudino IGME (1970).
- SIERRA, Josefina: *Aplicación del análisis mineralógico cuantitativo en el estudio de las magnetitas titaníferas de Agracha*. Tesina de Licenciatura (1976).

Recibido: Septiembre 1978